Primena genetskog algoritma u optimizaciji lanca snabdevanja

Milena Jevtić
Tehnički fakultet u Boru
Univerzitet u Beogradu
Bor, Srbija
email: mjevtic@tf.bor.ac.rs

Nenad Jovanović i Jordan Radosavljević
Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica
Univerzitet u Prištini
Kosovska Mitrovica, Srbija
emails: nenad.jovanovic@pr.ac.rs
jordan.radosavljevic@pr.ac.rs

Sadržaj- **U radu je razvijen matematički model za optimizaciju lanca snabdevanja koji se sastoji od većeg broja snabdevača, proizvođača, distributera, prodavaca i kupaca. Zatim je primenjen genetski algoritam za optimizaciju jediničnih i ukupnih troškova, količina materijala i proizvoda koje se transportuju i skladište za lanac snabdevanja sa 3 snabdevača, 2 proizvođača, 3 distributivna centra i 6 prodavaca. Programska realizacija genetskog algoritma izvršena je u programskom paketu MATLAB.**

Ključne reči- ***genetski algoritam; lanci snabdevanja; optimizacija***

I. UVOD

Lanac snabdevanja (LS) se može definisati kao integrisani sistem ili mreža koja sinhronizuje niz međusobno povezanih poslovnih procesa u cilju: nabavke sirovina; dodavanja vrednosti tim sirovinama njihovom transformacijom u proizvod/poluproizvod; distribucije ovih proizvoda distributivnim centrima ili prodaje trgovcima na malo i direktno kupcima; olakšanja protoka materijala, gotovih proizvoda, novca i informacija između partnera u LS (dobavljača, proizvođača, trgovaca, distributera i logističkih partnera) [1]. Da bi obezbedila opstanak na globalno povezanom tržištu, preduzeća moraju da se povezuju u integrisane LS i brže da se prilagođavaju promenama tržišta. Osnovni cilj povezivanja u LS je povećanje profitabilnosti, proizvodne efikasnosti i konkurentnosti svih povezanih preduzeća. Problemi koje treba, pri tome, rešavati su: upravljanje zalihama; transport i logistika; lokacija objekata i njihov raspored; protok informacija.

Modeliranje LS zahteva efikasnu primenu matematičkih metoda dok je za njihovu optimizaciju potrebno odabrati adekvatnu metodu. Primena klasičnih optimizacionih metoda koje se zasnivaju na diferenciranju funkcije cilja je teška i komplikovana u slučaju kada model sadrži, pored kontinualnih promenljivih, i veliki broj diskretnih promenljivih. Realni procesi u LS mogu obuhvatati izuzetno veliki broj međusobno povezanih promenljivih. U tim slučajevima se sve više koriste heurističke ("globalne") metode optimizacije, kao što su genetski algoritam (GA) i druge evolucione metode. U njima funkcija cilja ne mora da bude diferencijabilna a minimum koji se traži je "globalni" a ne "lokalni" kao što je to slučaj kod klasičnih metoda.

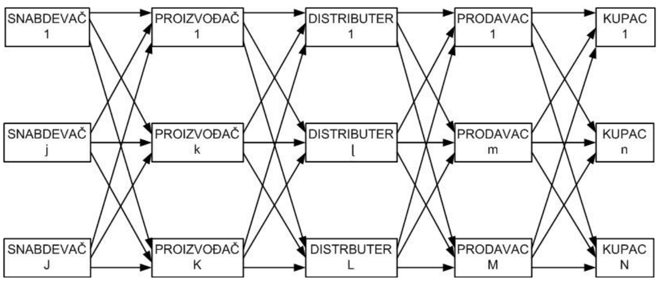
GA radi sa populacijom jedinki. Svaka jedinka je potencijalno rešenje datog optimizacionog problema. Jedinka se može opisati kao skup promenljivih stanja čije vrednosti se optimiziraju. Kvalitet jedinke se kvantifikuje preko vrednosti fitnes funkcije ili funkcije dobrote. Populacija jedinki je skup rešenja datog optimizacionog problema. Jedna generacija ima populaciju sa određenim brojem jedinki koje imaju bolje ili lošije vrednosti fitnes funkcije. GA je process koji se odvija sekvencijalno po iteracijama, primenom tri osnovna operatora: selekcije, ukrštanja i mutacije. Na kraju svake iteracije GA dobija se nova generacija populacije jedinki (rešenja). Nakon nekog broja generacija, postupak GA se zaustavlja kada se zadovolji unapred određeni uslov zaustavljanja. Najbolja jedinka iz poslednje generacije predstavlja rešenje optimizacionog problema, koje je obično sasvim blizu globalnog optimuma. Jedna iteracija GA se obično može podeliti u dve faze. Na početku procesa ima se tekuća populacija. Selekcija omogućava eliminaciju loših jedinki (rešenja) i preživljavanje boljih jedinki (sa boljim fitnes vrednostima). Time se kreira jedna među-populacija (parovi roditelja). Selekcija se može shvatiti kao formiranje parova – roditelja. Sledeću fazu čine operacije ukrštaja i mutacije. Ukrštanje je proces u kome rezmenom svojstava (gena) roditelja nastaju nove dve jedinke – deca. Nakon toga sledi mutacija, kojom se menjaju svojstva novonastalih jedinki slučajnom promenom gena. Na taj način se postiže da jedinke iz generacije u generaciju budu sve bolje, što znači da se vrednosti promenljivih stanja približavaju optimalnim vrednostima [2].

U radu [3] razmatra se problem optimizacije mreže LS primenom GA ali bez definisanih ograničenja. Rad [4] za sličan LS definiše ograničenja pri čemu razmatra višeciljnu optimizaciju primenom GA, i varijante parova funkcija cilja (ukupnih trpškova, troškova proizvodnje, troškova transporta, profita i prihoda) za koje dobija Pareto rešenja. Optimizacija LS primenom GA vrši se u radu [5] pri čemuse kao funkcije cilja uzimaju: ukupni troškovi, vreme isporuke proizvoda kupcima i iskorišćenost kapaciteta. U radu [6] se predlaže unapređena metoda optimizacije LS, na bazi hibridnog GA u kome se daje prilagodljiva šema za brže lokalno pretraživanje rešenja, što je pogodno kod složenih i komplikovanih LS. Optimizacijom LS primenom GA i jedne funkcije cilja (uglavnom ukupnih troškova ili profita) bave se i radovi: [7] - [12]. Radovi [13] i [14] razmatraju probleme višekriterijumske optimizacije LS primenom GA.

U ovom radu je najpre razvijen optimizacioni model tipičnog LS sa velikim brojem entiteta i upravljačkih veličina i sa tri faze (Sl. 1), koji se sastoji od snabdevača, proizvođača, distributera, prodavaca i kupaca. Zatim je primenjen GA za optimizaciju ukupnih troškova ovakvog LS pri čemu je definisano 109 upravljačkih promenljivih. Pri tome je korišćena programska realizacija GA u programskom paketu MATLAB-a.

II. FORMULACIJA PROBLEMA

Razmatran je LS (Sl. 1) sa 3 snabdevača, 2 proizvođača, 3 distributivna centra i 6 prodavaca.



Slika 1. Šema tipičnog LS sa označenim entitetima i tokovima dobara.

Pri formiranju matematičkog modela uzeti su u obzir: kapaciteti entiteta, ravnoteža protoka robe u proizvodnji i na skladištima, ograničenja potražnje, u svim fazama LS, kao i troškovi transporta, skladištenja i proizvodnje. U Tabeli I navedene su veličine LS koje se uzete kao promenljive.

TABELA I. PROMENLJIVE LS

Oznaka	Značenje
$X_{i,j,k}$	Količina komponente "i" koja se transportuje od snabdevača "j" do proizvođača "k"
$Y_{k,\ell}$	Količina proizvoda koja se transportuje od proizvođača "k" do distributivnog centra "ℓ"
$I_{i,k}$	Količina komponente "i" na skladištu proizvođača "k"
$CS_{i,j}$	Troškovi izrade komponente "i" od strane snabdevača "j"
$STC_{i,j,k}$	Troškovi transporta komponente "i" od snabdevača "j" do proizvođača "k", po jedinici
MC_k	Troškovi proizvodnje i rada kod proizvođača "k", po jedinici
IC_k	Troškovi skladištenja kod proizvođača "k", po jedinici
$PTC_{k,\ell}$	Troškovi transporta od proizvođača "k" do distributivnog centra "ℓ", po jedinici
ICD_ℓ	Troškovi skladištenja kod distributivnog centra "ℓ", po jedinici
ID_ℓ	Količina proizvoda na skladištu distributivnog centra "ℓ"
$TCD_{\ell,m}$	Troškovi transporta od distributivnog centra "ℓ" do prodavca "m", po jedinici
$Z_{\ell,m}$	Količine proizvoda koja se transportuje od distributera "ℓ" ka prodavcu "m"

Funkciju cilja predstavljaju ukupni troškovi LS:

$$T_u = T_t + T_s + T_p + T_d \quad (1)$$

gde su: T_u – ukupni troškovi; T_t – transportni troškovi; T_s – troškovi snabdevača; T_p– troškovi proizvodnje; T_d – troškovi distributivnih centara. Svi troškovi su izraženi u funkciji od usvojenih promenljivih iz Tabele I:

$$T_t = \sum_i \sum_j \sum_k \left(X_{i,j,k} S_{i,j} \cdot STC_{i,j,k}\right) + \sum_k \sum_\ell Y_{k,\ell} \cdot PTC_{k,\ell} \quad (2)$$

$$T_s = \sum_i \sum_j CS_{i,j} \cdot S_{i,j} X_{i,j,k} \quad (3)$$

$$T_p = \sum_k \left[(MC_k)\left(\sum_l Y_{k,l}\right)\right] + \left[\sum_k \left(IC_k \cdot \sum_i I_{i,k}\right)\right] \quad (4)$$

$$T_d = \sum_\ell \sum_m \left(Z_{\ell,m} \cdot TCD_{\ell,m}\right) + \sum_\ell \left(ICD_\ell \cdot ID_\ell\right) \quad (5)$$

U jednačinama (2) i (3) uvedena je promenljiva $S_{i,j}$, koja nije data u tabeli promenljivih (Tabeli I). Ova promenljiva je binarnog karaktera (može biti 1 ili 0) i označava da li komponenta uz koju stoji, može biti isporučena od strane snabdevača ili ne. U ovom radu će se smatrati da je ona konstantna, tj jednaka jedinici.

Ograničenja koja su postavljena pri rešavanju ovog problema su:

$$\sum_\ell Y_{k,\ell} \le A_k \qquad \forall\, k \quad (6)$$

$$\sum_k S_{i,j} X_{i,j,k} \le B_{i,j} \forall\, i,j \quad (7)$$

$$\sum_i \sum_j S_{i,j,k} X_{i,j,k} = \sum_\ell Y_{k,\ell} + \sum_i I_{i,k} \;\forall\, k \quad (8)$$

TABELA II. ZADATE GRANICE PROMENLJIVIH

Komponenta→ Snabdevač↓	C1		C2		C3	
	Troškovi transporta sve tri komponente od sva tri snabdevača do proizvođača 1, po jedinici					
	Min	*Max*	*Min*	*Max*	*Min*	*Max*
S1	6	12	10	20	8	15
S2	10	16	4	10	9	14
S3	7	15	9	15	10	15
	Troškovi transporta sve tri komponente od sva tri snabdevača do proizvođača 2, po jedinici					
	Min	*Max*	*Min*	*Max*	*Min*	*Max*
S1	9	15	10	20	10	22
S2	10	15	7	12	4	9
S3	10	20	10	20	9	15
	Količine sve tri komponente koje se transportuju od sva tri snabdevača do proizvođača 1					
	Min	*Max*	*Min*	*Max*	*Min*	*Max*
S1	80	90	60	75	80	85
S2	18	22	70	75	18	35
S3	20	25	8	15	15	30
	Količine sve tri komponente koje se transportuju od sva tri snabdevača do proizvođača 2					
	Min	*Max*	*Min*	*Max*	*Min*	*Max*
S1	10	33	90	125	85	100
S2	145	165	120	150	90	100
S3	75	90	25	40	70	78
	Troškovi izrade sve tri komponente kod sva tri snabdevača, po jedinici					
	Min	*Max*	*Min*	*Max*	*Min*	*Max*
S1	160	200	100	140	120	160
S2	100	140	80	120	120	160
S3	180	220	490	545	200	250
Komponenta→ Proizvođač↓	**C1**		**C2**		**C3**	
	Količine sve tri komponente na skladištima oba proizvođača					
	Min	*Max*	*Min*	*Max*	*Min*	*Max*
P1	10	150	10	150	10	150
P2	15	250	15	250	15	250
Distributer→ Proizvođač↓	**D1**		**D2**		**D3**	
	Troškovi transporta od oba proizvođača do sva tri distributera, po jedinici					
	Min	*Max*	*Min*	*Max*	*Min*	*Max*
P1	12	16	13	17	15	20
P2	10	15	12	16	14	18
	Količine proizvoda koje se transportuju od oba proizvođača do sva tri distributera					
	Min	*Max*	*Min*	*Max*	*Min*	*Max*
P1	40	55	52	60	30	40
P2	130	140	55	65	50	58

Prodavac→ Distributer↓	R1		R2		R3		R4		R5		R6	
	Troškovi transporta od sva tri distributera do svih šest prodavaca, po jedinici											
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
D1	5	9	7	11	6	10	3	7	4	8	2	6
D2	8	12	6	10	10	14	2	6	9	13	7	11
D3	6	10	4	8	2	6	1	5	1	4	2	6
	Količine proizvoda koje se transportuju od sva tri distributera do sva šest prodavca											
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
D1	15	25	11	21	13	23	24	34	19	29	31	41
D2	9	19	13	24	7	17	31	40	8	19	11	22
D3	13	23	19	30	31	41	43	54	68	79	31	41

Proizvođač↓	**Troškovi proizvodnje kod proizvođača, po jedinici**	
	Min	*Max*
P1	1700	2000
P2	1600	2100
Distributer↓	**Troškovi skladištenja kod distributera, po jedinici**	
	Min	*Max*
D1	50	100
D2	60	92
D3	70	120
Distributer↓	**Količina proizvoda na skladištu distributivnog centra**	
	Min	*Max*
D1	100	170
D2	150	210
D3	150	230
Proizvođač↓	**Troškovi skladištenja kod oba proizvođača, po jedinici**	
	Min	*Max*
P1	45	75
P2	50	65

TABELA III. REZULTATI OPTIMIZACIJE

Komponenta→ Snabdevač↓	C1	C2	C3
	Troškovi transporta sve tri komponente od sva tri snabdevača do proizvođača 1, po jedinici		
S1	6.3	19.6	9.3
S2	15.8	6.5	13.8
S3	7.8	14.6	11.9
	Troškovi transporta sve tri komponente od sva tri snabdevača do proizvođača 2, po jedinici		
S1	12.6	12.3	20.7
S2	11.1	8	4.9
S3	15.8	12.6	13.6
	Količine sve tri komponente koje se transportuju od sva tri snabdevača do proizvođača 1		
S1	83.6	70.9	84
S2	18	70.7	32.7
S3	22.5	14.1	22.8
	Količine sve tri komponente koje se transportuju od sva tri snabdevača do proizvođača 2		
S1	18.5	101.4	91.3
S2	155.4	127.4	92.7
S3	78.1	39.9	75.3
	Troškovi izrade sve tri komponente kod sva tri snabdevača, po jedinici		
S1	176.5	113.3	136.1
S2	137.2	87.3	143.4
S3	217.5	526.6	204
Komponenta→ Proizvođač↓	**C1**	**C2**	**C3**
	Količine sve tri komponente na skladištima oba proizvođača		
P1	63.7	131.2	86
P2	61.5	246.1	214
Distributer→ Proizvođač↓	**D1**	**D2**	**D3**
	Troškovi transporta od oba proizvođača do sva tri distributera, po jedinici		
P1	14.1	16.1	17.2
P2	14.2	15.2	17
Proizvođač↓	**Količine proizvoda koje se transportuju od oba proizvođača do sva tri distributera**		
P1	44.6	59	34.7
P2	138.5	63.3	56.7

Prodavac→ Distributer↓	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	Troškovi transporta od sva tri distributera do svih šest prodavaca, po jedinici					
D1	7.1	7.1	9.6	3	4.1	2.3
D2	9.2	8.9	10.3	3.7	9.1	10
D3	8.6	7.6	5	3.9	2.4	5.7
	Količine proizvoda koje se transportuju od sva tri distributera do sva šest prodavca					
D1	19.8	12.8	17.1	26.9	20.2	37.6
D2	11.6	22.3	14.8	34	18.2	18.7
D3	22.8	25.2	31.4	48	69.2	38.5
Proizvođač↓	**Troškovi proizvodnje kod proizvođača, po jedinici**					
P1	1889.2					
P2	1885.6					
Distributer↓	**Troškovi skladištenja kod distributera, po jedinici**					
D1	67.7					
D2	90.3					
D3	84.7					
Distributer↓	**Količina proizvoda na skladištu distributivnog centra**					
D1	127					
D2	168.4					
D3	150.8					
Proizvođač↓	**Troškovi skladištenja kod oba proizvođača, po jedinici**					
P1	65.3					
P2	58.8					

Nejednačina (6) daje ograničenje ukupne proizvodnje, nejednačina (7) daje ograničenje izrade komponente kod snabdevača a jednačina (8) pokazuje ravnotežu količina na ulazu, izlazu i na zalihama svakog proizvođača. U Tabeli II zadate su donje i gornje granice svih 109 promenljivih koje se javljaju u izvedenom matematičkom modelu primenjenom na primeru koji se razmatra.

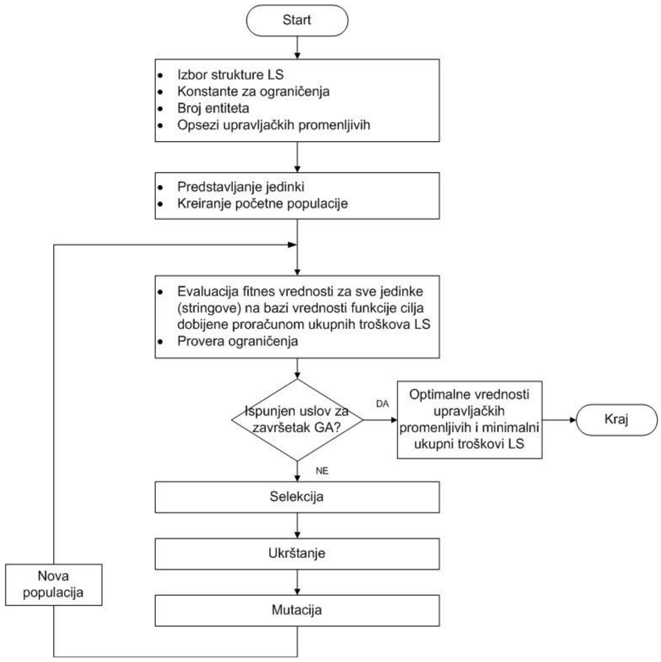
S obzirom da je za primer koji se razmatra $k = 2$, $i = 3$ i $j = 3$, broj konstanti A_k je 2 a broj konstanti $B_{i,j}$ je 9. Njihove zadate vrednosti su: $A_1 = 150$; $A_2 = 250$; $B_{11} = 120$; $B_{21} = 180$; $B_{31} = 200$; $B_{12} = 190$; $B_{22} = 220$; $B_{32} = 140$; $B_{13} = 120$; $B_{23} = 60$; $B_{33} = 115$.

Na Sl. 2 dat je dijagram toka primene GA za određivanje optimalnih troškova razmatranog LS. Programska realizacija GA je u programskom paketu MATLAB. Odabrani parametri GA su:

- Crossover fraction = 1
- Migration fraction = 0,02
- Population size = 20
- Generation = 50

III. REZULTATI SIMULACIJE

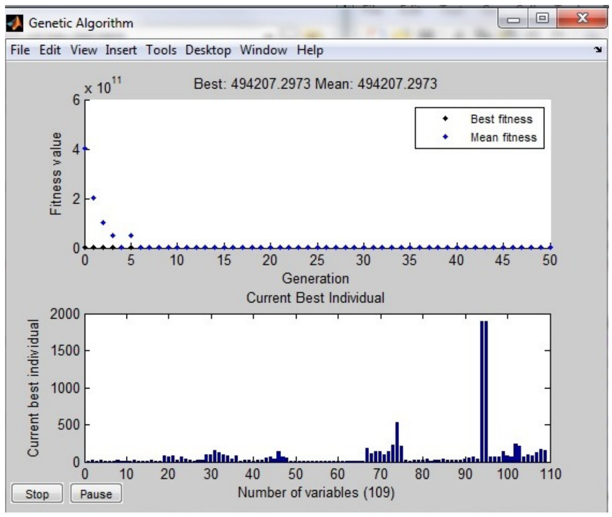
U Tabeli III dati su rezultati optimalnih vrednosti jediničnih troškova (transportnih, proizvodnih i troškova skladištenja) i optimalne vrednosti količina komponenti i gotovih proizvoda koji se transportuju između entiteta i koji se



Slika 2. Dijagram toka primene GA za određivanje optimalnih troškova LS.

TABELA IV. DOBIJENI OPTIMALNI UKUPNI TROŠKOVI

Redni broj	Vrsta troškova	Iznos troškova
1	Transportni troškovi	19942,54
2	Troškovi snabdevača	190821,42
3	Troškovi proizvodnje	226028,50
4	Troškovi distributera	39275,88
5	Ukupni troškovi LS	476068,35



Slika 3. Grafici rezultata simulacije: a) konvergencija algoritma; b) optimalna rešenja promenljivih

skladiraju kod pojedinih entiteta LS. U Tabeli IV dati su rezultati dobijenih optimalnih ukupnih troškova (transportnih, troškova snabdevača, proizvodnih, distributivnih) kao i minimalnih ukupnih troškova LS. Iz Tabele IV se vidi da se sve vrednosti nalaze u zadatim granicama. Na Sl. 3 dati su grafici koje MATLAB daje kao rezultat optimizacije. Sa prvog grfika se vidi da se optimalno rešenje postiže brzo, tj posle nekoliko iteracija. Sa drugog grafika se vide optimalne vrednosti svih promenljivih.

IV. ZAKLJUČAK

LS mogu imati složenu strukturu sa realnim procesima koji mogu obuhvatati izuzetno veliki broj međusobno povezanih promenljivih koje mogu biti kontinualne i diskretne. Primena konvencionalnih matematičkih metoda optimizacije kod ovakvih LS može biti, u tim slučajevima otežana. Zbog toga se sve više primenjuju metode optimizacije na bazi veštačke inteligencije, kod kojih se pretraživanje optimalnih rešenja vrši na bazi nekog prirodnog zakona. U ovom radu je formiran matematički model uopštenog LS, pomoću kojeg je uspešno primenjen genetski algoritam koji spada u evolucione algoritme i koristi zakon prirodne selekcije. Na primeru LS sa 3 snabdevača, 2 proizvođača, 3 distributivna centra i 6 prodavaca izvršena je optimizacija ukupnih troškova i troškova pojedinih entiteta LS kao i optimizacija formiranih 109 promenljivih u LS. Za programsku realizaciju GA korišćen je MATLAB. Dobijeni rezultati se mogu koristiti pri formiranju integrisanih lanaca snabdevanja i pri njihovom upravljanju.

LITERATURA

[1] C. Weber and J. Current, "A Multi-Objective Approach to Vendor Selection," European Journal of Operations Research, vol. 68, 1993, pp. 173-184.

[2] J. Radosavljević,D. Klimenta, M. Jevtić, "A genetic algorithm-based approach for a general steady-state analysis of three-phase self-excited induction generator," Revue Roumaine des Sciences Techniques. Ser. Electrotechnique et Energetique, vol. 57, 2012, pp. 10-19.

[3] C. S. Danalakshmi and G. M. Kumar, "Optimization of Supply Chain Network Using Genetic Algorithm," Journal of Manufacturing and Industrial Engineering, no. 3, 2010, pp. 30-35.

[4] E. G. Pinto, "Supply Chain Optimization using Multi-Objective Evolutionary Algorithms," http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download.

[5] F. Altiparmak, M.Gen, L. Lin and T. Paksou, "A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks," Computers and Industrial Engineering, vol. 51, 2006, pp. 196-215.

[6] Y. Yun, C. Moon, D. Kim, "Hybrid genetic algorithm with adaptive local search scheme for solving multistage-based supply chain problems," Computers and Industrial Engineering, vol. 56, 2009, pp. 821-838.

[7] M. Jevtić: "Primena genetičkog algoritma u optimizaciji u upravljanju lancima snabdevanja preduzeća sa uslužnom delatnošću", International May Conference on Strategic Management IMKSM 2013, 2013, Bor, Proceedings, pp. 139-145.

[8] F. Altiparmak, M. Gen and L. Lin, "A genetic algorithm for supply chain network design," 35th International Conference of Computers and Industrial Engineering, 2005, Proceedings, pp. 111-116.

[9] V. Jayaraman and A. Ross, "A simulated annealing methodology to distribution network design and management," European Journal of Operational Research, vol. 144, 2003, pp. 629–645.

[10] H. Yan, Z. Yu and T. C. Cheng, (2003)." A strategic model for supply chain design with logical constraints: formulation and solution," Computers and Operations Research, vol. 14, 2003, pp. 2135–2155.

[11] M. Gen and A. Syarif, " Hybrid genetic algorithm for multi-time period production/distribution planning," Computers and Industrial Engineering, vol. 4, 2005, pp. 799–809.

[12] T.H. Truong and F. Azadivar, " Optimal design methodologies for configuration of supply chains" International Journal of Production Researches, vol. 11 2005, pp. 2217–2236.

[13] F. T. S. Chan and S. H. Chung, (2004). "A multi-criterion genetic algorithm for order distribution in a demand driven supply chain," International Journal of Computer Integrated Manufacturing, vol. 4, 2004, pp.339–351.

[14] F.T.S. Chan, S. H. Chung and S. Wadhwa, "A hybrid genetic algorithm for production and distribution," Omega, vol. 33, 2004, pp. 345–355.

ABSTRACT

In this paper, a mathematical model to optimize the supply chain which consists of a large number of suppliers, manufacturers, distributors, retailers and customers, is developed. Then, genetic algorithm is applied to optimize the unit and total costs, the amount of materials and products that are transported and stored, for supply chain with three suppliers, 2 manufacturers, 3 distribution centers and 6 retailers. Program realization of genetic algorithm was performed in MATLAB.

Key words- genetic algorithm; supply chains; optimization

USE OF GENETIC ALGORITHM IN SUPPLY CHAIN OPTIMIZATION

Milena Jevtić, Nenad Jovanović i Jordan Radosavljević